



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
27.11.2019 Patentblatt 2019/48

(51) Int Cl.:
A61B 1/00 (2006.01) G02B 23/24 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19172294.1**

(22) Anmeldetag: **02.05.2019**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(30) Priorität: **02.05.2018 DE 102018110523**

(71) Anmelder:
• **Universität Stuttgart**
70174 Stuttgart (DE)
• **Karl Storz SE & Co. KG**
78532 Tuttlingen (DE)

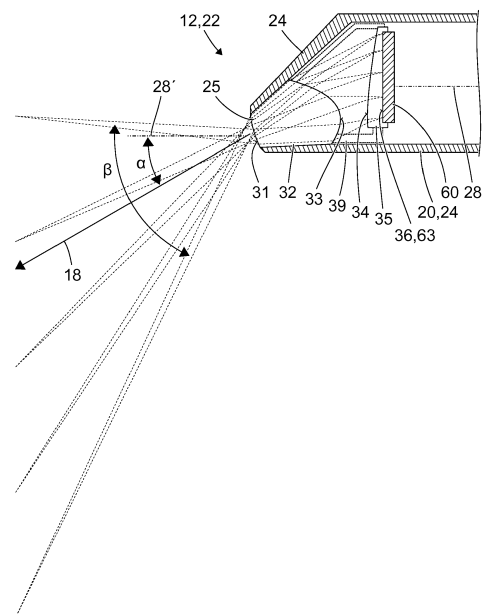
(72) Erfinder:
• **Gießen, Harald**
67297 Marnheim (DE)
• **Herkommer, Alois**
70569 Stuttgart (DE)
• **Thiele, Simon**
70569 Stuttgart (DE)
• **Irion, Klaus**
78532 Tuttlingen (DE)
• **Göbel, Werner**
78532 Tuttlingen (DE)
• **Häsler, Benjamin**
78532 Tuttlingen (DE)

(74) Vertreter: **Wimmer, Stephan**
Birkenwaldstrasse 118
70191 Stuttgart (DE)

(54) **MEDIZINISCHES ENDOSKOP UND ABBILDUNGSEINRICHTUNG FÜR EIN MEDIZINISCHES ENDOSKOP**

(57) Ein medizinisches Endoskop (10) umfasst einen Schaft (20) mit einem distalen Ende (23), eine optische Abbildungseinrichtung (30) an dem distalen Ende (23) des Schafts (20) zum Erzeugen eines reellen Bilds eines mittels des medizinischen Endoskops (10) betrachteten Objekts und zumindest entweder eine Bildübertragungseinrichtung (70) zum Weiterleiten des reellen Bilds oder einen Bildsensor (60) zum Erfassen des reellen Bilds. Die Abbildungseinrichtung (30) weist gekrümmte lichtbrechende Grenzflächen (31, 33, 34) auf, die gegeneinander gekippt sind.

Fig. 2



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung ist auf ein Endoskop und auf eine Abbildungseinrichtung zum Erzeugen eines reellen Bilds eines mittels des Endoskops betrachteten Objekts bezogen.

[0002] In vielen medizinischen Teilgebieten der Medizin ist eine optische Inspektion dünnkalibriger Hohlräume oder Hohlorgane diagnostisch vorteilhaft und wünschenswert. Beispiele sind Zahnwurzelkanäle mit einem typischen Durchmesser von 0,5 mm oder weniger, Speichelgänge mit einem typischen Durchmesser von 1 mm oder weniger, die Eustachi-Röhren mit einem typischen Durchmesser von 1,5 mm oder weniger und Milchgänge mit einem typischen Durchmesser von 1,3 mm oder weniger. Ferner könnte zukünftig - bei geeigneter Spülung - eine optische Inspektion der Innenwände von Blutgefäßen oder von Lymphgefäßen diagnostisch vorteilhaft und wünschenswert sein. Im Rahmen der Bronchoskopie wäre eine optische Inspektion von Alveolen diagnostisch vorteilhaft und wünschenswert. Auch eine optische Inspektion eines Embryos im Mutterleib wäre diagnostisch vorteilhaft und wünschenswert. Diese Anwendungen erfordern entsprechend dünne optische Inspektionsinstrumente, insbesondere Endoskope.

[0003] Neue Fertigungsverfahren ermöglichen eine immer präzisere Fertigung immer kleinerer Strukturen, auch aus optisch transparenten Materialien.

[0004] In EP 1 961 371 B1 ist eine Beleuchtungseinrichtung für eine Bilderfassungseinrichtung am distalen Ende eines Endoskops beschrieben. Zur Strahlformung sind Mikrolinsen vorgesehen (Absatz [0024]).

[0005] In DE 10 2015 003 652 A1 sind ein Verfahren zum Verbinden einer optischen Festkernfaser mit einer weiteren optischen Faser und ein Verfahren zum Bereitstellen einer optischen Festkernfaser mit einer Fügungsvorrichtung zum Verbinden der optischen Festkernfaser mit einer weiteren optischen Faser beschrieben (Titel, Absätze [0015], [0016]). Die Fügungsvorrichtung wird mittels 3D-Drucks basierend auf Zwei-Photonen-Polymerisation auf das axiale Ende der Festkernfaser gebracht (Absätze [0016], [0021]).

[0006] In DE 10 2015 012 980 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von Mikrostrukturen auf optischen Fasern mittels eines 3D-Druckers beschrieben (Titel, Absätze [0007], [0009], [0058], [0064], [0067]). Dabei kann Zwei-Photonen-Polymerisation verwendet werden (Absatz [0059]).

[0007] In EP 3 162 549 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung eines optischen Elements mit einer Blende oder einer Struktur zur Streulichtabsorption beschrieben (Titel, Absätze [0004], [0008], [0012]). Mittels eines 3D-Druckers wird eine dreidimensionale Struktur mit einer mikrofluidischen Kavität gebildet, die mikrofluidische Kavität wird anschließend durch Kapillareffekt mit einer funktionalen Substanz gefüllt (Absatz [0015]).

[0008] In DE 10 2015 103 214 A1 ein Trokar 20 be-

schrieben, der ein Durchdringen der Bauchdecke unter optischer Kontrolle ermöglichen soll. Dazu weist der Trokar einen Hohlraum, in dem ein Schaft eines Endoskops angeordnet werden kann, und eine zumindest teilweise optisch transparente Spitze 24 auf. Zwischen der vorgesehenen Position des distalen Endes 11 des Endoskops 10 und der transparenten Spitze 24 des Trokars 20 sind Linsen 30 und Prismen 40 vorgesehen, um die Blickrichtung von der Endoskop-Blickrichtung zu einer Trokar-Blickrichtung zu ändern und mit einem Seitenblick-Endoskop einen Geradeausblick im Trokar zu ermöglichen.

[0009] In DE 697 34 638 T2 ist ein optisches System eines Endoskops mit einer rotationsasymmetrischen gewölbten Fläche beschrieben.

[0010] In US 5,912,764 ist ein optisches System für ein Endoskop beschrieben (Spalte 1, Zeilen 5 bis 8; Spalte 1, Zeile 66, bis Spalte 2, Zeile 1).

[0011] In DE 10 2011 089 157 A1 ist ein Videoendoskop mit seitlicher Blickrichtung beschrieben (Absätze [0001], [0007]). Das Videoendoskop 1 umfasst am distalen Ende seines Endoskopschafts 2 eine Meniskuslinse 12, ein Prisma 11, das seitlich einfallende Lichtstrahlen in eine axiale Richtung umlenkt, und Linsen 23, 23' vor einem optischen Sensor 21 (Absatz [0029], Figur).

[0012] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein verbessertes Endoskop und ein verbessertes Verfahren zum Herstellen einer Abbildungseinrichtung für ein Endoskop zu schaffen.

[0013] Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst.

[0014] Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0015] Ein Endoskop umfasst einen Schaft mit einem distalen Ende, eine optische Abbildungseinrichtung an dem distalen Ende des Schafts zum Erzeugen eines reellen Bilds eines mittels des Endoskops betrachteten Objekts und zumindest entweder eine Bildübertragungseinrichtung zum Weiterleiten des reellen Bilds oder einen Bildsensor zum Erfassen des reellen Bilds, wobei die Abbildungseinrichtung gekrümmte lichtbrechende Grenzflächen aufweist, die gegeneinander gekippt sind.

[0016] Das Endoskop ist insbesondere für medizinische Anwendungen vorgesehen, beispielsweise als Sialendoskop für die optische Inspektion eines Speichelgangs, als Fetoskop zur optischen Inspektion eines ungeborenen Fötus in der Fruchtblase, als Zystoskop zur Blasenspiegelung, als Wurzelkanal-Endoskop zur optischen Inspektion des Wurzelkanals eines Zahns in der Endodontie, oder zur Duktoskopie, d. h. zur optischen Inspektion eines Milchkanals einer Brustdrüse. Alternativ kann das Endoskop für technische Anwendungen vorgesehen und ausgebildet sein.

[0017] Der Schaft des Endoskops ist insbesondere lang und dünn. Der Schaft kann gerade oder gekrümmt, starr oder flexibel sein.

[0018] Die Bildübertragungseinrichtung kann beispielsweise eine Mehrzahl hintereinander angeordneter Stablinen oder ein anderes Relaislinsensystem oder ein

geordnetes Bündel von Lichtleitfasern aufweisen. Die Bildübertragungseinrichtung überträgt das von der optischen Abbildungseinrichtung erzeugte reelle Bild insbesondere zu einem proximalen Ende des Endoskops. An dem proximalen Ende des Endoskops kann das übertragene reelle Bild durch ein Okular unmittelbar beobachtet oder von einer an das Okular gekoppelten Kamera oder von einem oder mehreren auf andere Weise mit dem Endoskop optisch gekoppelten oder in das Endoskop integrierten Bildsensoren erfasst und in ein Bildsignal gewandelt werden. Alternativ ist ein Bildsensor oder sind mehrere Bildsensoren unmittelbar an der Abbildungseinrichtung angeordnet, um das von der Abbildungseinrichtung erzeugte reelle Bild zu erfassen und in ein analoges oder digitales Bildsignal zu wandeln.

[0019] Die gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen sind insbesondere so gegeneinander gekippt, dass es keine gemeinsame Symmetrieachse gibt, zu der alle gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen rotationssymmetrisch wären. Insbesondere sind die Flächennormalen der gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen an deren Scheiteln oder an deren Flächenmittelpunkten nicht parallel zueinander und/oder nicht parallel zu einer Verbindungsgeraden der Scheitel oder Flächenmittelpunkte. Alternativ können beispielsweise die mittleren Flächennormalen der gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen nicht parallel zueinander und/oder nicht parallel zu einer Verbindungsgeraden der Scheitel oder Flächenmittelpunkte der gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen sein. Diese Anordnung und Ausrichtung der gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen wird auch als außeral axial bezeichnet. Die Abbildungseinrichtung kann außer zwei oder mehr gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen die gegeneinander gekippt sind, auch eine oder mehrere weitere gekrümmte lichtbrechende Grenzflächen aufweisen, die zueinander oder zu einer der gegeneinander gekippten gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen parallel oder symmetrisch zu einer gemeinsamen optischen Achse angeordnet sind.

[0020] Eine Abbildungseinrichtung mit gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen, die gegeneinander gekippt sind, ermöglicht ungewöhnliche Abbildungseigenschaften, beispielsweise ein Abweichen der Blickrichtung von der Flächennormalen des durch die optische Abbildungseinrichtung erzeugten reellen Bilds, eine Verzerrung oder Entzerrung und/oder eine Nicht-Parallelität von Gegenstandsfläche und Bildfläche.

[0021] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist der Durchmesser des Schafts insbesondere nicht größer als 3 mm oder nicht größer als 1,5 mm oder nicht größer als 1,0 mm oder kleiner als 1,0 mm.

[0022] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist der Durchmesser der Abbildungseinrichtung insbesondere nicht größer als 3 mm oder nicht größer als 1,5 mm oder nicht größer als 1,0 mm oder kleiner als 1,0 mm.

[0023] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist insbesondere eine der gekrümmten lichtbrechen-

den Grenzflächen der Abbildungseinrichtung nicht rotationssymmetrisch.

[0024] Eine gekrümmte lichtbrechende Grenzfläche ist nicht rotationssymmetrisch, wenn es keine Symmetrieachse gibt, zu der die gekrümmte lichtbrechende Grenzfläche rotationssymmetrisch wäre. Die Abbildungseinrichtung kann mehrere gekrümmte lichtbrechende Grenzflächen aufweisen, die jeweils nicht rotationssymmetrisch sind.

[0025] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist insbesondere eine der gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen der Abbildungseinrichtung kein Ausschnitt aus einer rotationssymmetrischen gekrümmten Fläche.

[0026] Insbesondere sind mehrere oder alle gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen der Abbildungseinrichtung nicht Ausschnitte aus rotationssymmetrischen gekrümmten Flächen.

[0027] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist insbesondere eine der gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen eine Freiformfläche.

[0028] Insbesondere können mehrere oder alle gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen Freiformflächen sein. Als Freiformfläche wird insbesondere eine Fläche bezeichnet, die nicht ein Ausschnitt einer Kugeloberfläche oder eines Rotationsellipsoids oder eines Rotationshyperboloids ist. Die Ausgestaltung von einer oder mehreren gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen der Abbildungseinrichtung als Freiflächen kann eine weitgehende Anpassung der optischen Eigenschaften der Abbildungseinrichtung an Erfordernisse der vorgesehenen Anwendung und gleichzeitig eine hohe Abbildungsqualität ermöglichen.

[0029] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist die Blickrichtung des Endoskops insbesondere nicht parallel zu der Längsachse des distalen Endes des Schafts des Endoskops.

[0030] Die Blickrichtung des Endoskops ist insbesondere die auf die Mitte der Lichteintrittsfläche des Endoskops bezogene Richtung, in der ein Objekt liegt, das in die Mitte eines mittels des Endoskops erfassten Bilds abgebildet wird. Insbesondere im Fall einer verzerrten Abbildung mit an unterschiedlichen Orten des Bilds deutlich unterschiedlichen Abbildungsmaßstäben kann als Blickrichtung des Endoskops angesehen werden die Richtung von der Mitte der Lichteintrittsfläche des Endoskops zu dem Flächenmittelpunkt jener Fläche, die von der Abbildungseinrichtung scharf abgebildet und vollständig von der Bildübertragungseinrichtung weitergeleitet oder von dem Bildsensor erfasst wird.

[0031] Endoskope, deren Blickrichtung nicht parallel zu der Längsachse des Schafts (im Fall eines gekrümmten oder krümbaren Schafts: nicht parallel zu der Längsachse des Schafts an seinem distalen Ende) ist, werden oft auch als Seitenblick-Endoskope bezeichnet. Gekrümmte lichtbrechende Grenzflächen, die gegeneinander gekippt sind, können eine von der Längsachse des Schafts abweichende Blickrichtung des Endoskops er-

möglichen, ohne dabei reflektierende Flächen (beispielsweise an einem Prisma) oder eine schräge Anordnung des Bildsensors zu erfordern.

[0032] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist der Winkel zwischen der Blickrichtung des Endoskops und der Längsachse des distalen Endes des Endoskops insbesondere nicht kleiner als 10 Grad oder nicht kleiner als 20 Grad oder nicht kleiner als 30 Grad.

[0033] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, beträgt ein Winkel zwischen der Blickrichtung des Endoskops und der Längsachse des distalen Endes des Endoskops insbesondere 25 Grad oder 30 Grad oder 45 Grad oder 60 Grad oder 70 Grad oder 90 Grad oder 120 Grad.

[0034] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, wird zur Erzeugung des reellen Bilds beitragendes Licht insbesondere nicht reflektiert.

[0035] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist insbesondere keine reflektierende Fläche lichtstromaufwärts des von der Abbildungseinrichtung erzeugten reellen Bilds vorgesehen.

[0036] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, weist insbesondere die Abbildungseinrichtung keine reflektierende Fläche auf.

[0037] Der Verzicht auf eine reflektierende Fläche kann den erforderlichen Bauraum verringern und eine präzise Fertigung vereinfachen. Insbesondere muss kein Prisma mit totalreflektierenden Oberflächenbereichen gefertigt und angeordnet werden.

[0038] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist der Bildwinkel des Endoskops insbesondere nicht kleiner als 60 Grad oder nicht kleiner als 70 Grad oder nicht kleiner als 80 Grad oder nicht kleiner als 90 Grad oder nicht kleiner als 100 Grad.

[0039] Bildwinkel eines Endoskops ist insbesondere der von der Mitte der Lichteintrittsfläche des Endoskops aus gemessene Winkel zwischen einander gegenüberliegenden geraden oder im Wesentlichen geraden Randabschnitten derjenigen Fläche, die von der Abbildungseinrichtung scharf abgebildet und deren reelles Bild von der Bildübertragungseinrichtung vollständig weitergeleitet oder von dem Bildsensor vollständig erfasst wird. Alternativ ist der Bildwinkel eines Endoskops insbesondere der von der Mitte der Lichteintrittsfläche des Endoskops aus gemessene Winkel zwischen einander gegenüberliegenden Randabschnitten derjenigen Fläche, die von der Abbildungseinrichtung scharf abgebildet und deren reelles Bild von der Bildübertragungseinrichtung vollständig weitergeleitet oder von dem Bildsensor vollständig erfasst wird.

[0040] Gekrümmte lichtbrechende Grenzflächen, die gegeneinander gekippt sind, können selbst bei einer Blickrichtung, die nicht parallel zu der Längsachse des distalen Endes des Schafts des Endoskops ist, einen großen Bildwinkel und gleichzeitig eine vergleichsweise gute Abbildungsqualität ermöglichen.

[0041] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, weist die Abbildungseinrichtung zumindest entweder

Kunststoff oder Glas oder eine Mischung aus Kunststoff und Glas auf oder ist teilweise oder vollständig aus Kunststoff oder Glas oder einer Mischung aus Kunststoff und Glas gebildet.

[0042] Glas kann in Form von Nanopartikeln oder anderen kleinen Partikeln in eine Kunststoffmatrix eingebettet sein. Unterschiedliche optische Eigenschaften, beispielsweise gegensätzliche Dispersion des Glases der Glaspartikel und des Kunststoffs können beispielsweise eine Minderung der chromatischen Aberration ermöglichen.

[0043] Ein Endoskop, wie es hier beschrieben ist, umfasst insbesondere ferner eine Blendenstruktur zum lateralen Beschneiden eines optischen Pfads, wobei die Blendenstruktur zumindest entweder gleichzeitig mit der Abbildungseinrichtung hergestellt oder in die Abbildungseinrichtung eingebettet ist.

[0044] Die Blendenstruktur ist insbesondere aus einem lichtabsorbierenden Material gebildet. Die Blendenstruktur kann an einer lichtbrechenden Grenzfläche (und damit diese lateral begrenzend), zwischen zwei lichtbrechenden Grenzflächen oder, bezogen auf die Ausbreitungsrichtung von Licht, das von einem betrachteten Objekt ausgeht, vor oder hinter allen lichtbrechenden Grenzflächen der Abbildungseinrichtung angeordnet sein. Die Blendenstruktur kann beispielsweise mittels 3D-Druck oder durch Auffüllen eines Hohlraums in einem transparenten Körper der Abbildungseinrichtung durch Kapillarkraft gebildet sein.

[0045] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist die Abbildungseinrichtung insbesondere mittels auf Mehrphotonen-Absorption (insbesondere Zwei-Photonen-Absorption) oder Mehrphotonen-Polymerisation (insbesondere Zwei-Photonen-Polymerisation) beruhendem 3D-Druck hergestellt.

[0046] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist die Abbildungseinrichtung insbesondere mittels 3D-Druck hergestellt, wobei die Abbildungseinrichtung unmittelbar auf eine distale Lichteintrittsfläche einer Bildübertragungseinrichtung zum Weiterleiten des reellen Bild oder auf eine Lichteintrittsfläche eines Bildsensors zum Erfassen des reellen Bilds gedruckt ist.

[0047] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist die Abbildungseinrichtung insbesondere mittels 3D-Druck aus mehreren verschiedenen Materialien hergestellt.

[0048] Die Abbildungseinrichtung ist insbesondere aus mehreren verschiedenen Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindizes gebildet. Die Abbildungseinrichtung ist insbesondere aus mehreren verschiedenen flüssigen photoreaktiven oder photohärtenden Vorläufermaterialien hergestellt.

[0049] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, weist die Abbildungseinrichtung insbesondere eine als diffraktives optisches Element ausgebildete Grenzfläche oder ein anderes diffraktives optisches Element auf.

[0050] Das diffraktive optische Element kann insbe-

sondere eine chromatische Korrektur ermöglichen, indem es eine zu dem optisch transparenten Material der Abbildungseinrichtung entgegengesetzte Dispersion aufweist.

[0051] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, weist die Abbildungseinrichtung insbesondere mehrere optisch transparente und bei der vorgesehenen Verwendung von Licht, das von einem betrachteten Objekt ausgeht und zur Erzeugung des reellen Bild beiträgt, durchsetzte Körper mit den lichtbrechenden Grenzflächen auf.

[0052] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, weist die Abbildungseinrichtung insbesondere mehrere optisch transparente und bei der vorgesehenen Verwendung von Licht, das von einem betrachteten Objekt ausgeht und zur Erzeugung des reellen Bild beiträgt, durchsetzte Körper mit den lichtbrechenden Grenzflächen auf, wobei eine Stützeinrichtung die Körper mechanisch starr verbindet.

[0053] Die mehreren optisch transparenten Körper sind insbesondere so angeordnet, dass Licht, das von einem betrachteten Objekt ausgeht zu der Erzeugung des reellen Bilds beiträgt, die transparenten Körper nacheinander durchtritt.

[0054] Die Stützeinrichtung oder Stützstruktur umfasst beispielsweise eine oder mehrere Stützstreben. Die Stützeinrichtung oder Stützstruktur ist insbesondere verbunden mit Randbereichen der Körper mit den lichtbrechenden Grenzflächen. Die Stützeinrichtung kann mehrere, optional parallele Stützstreben und/oder ein Netz oder Gitter aus Stützstreben aufweisen.

[0055] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, sind die Stützeinrichtungen und die transparenten Körper, die von dem Licht durchsetzt werden und die gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen aufweisen insbesondere zumindest entweder aus dem gleichen Material gebildet oder gleichzeitig hergestellt.

[0056] Eine gleichzeitige Herstellung der Stützeinrichtung und der von dem Licht durchsetzten und die gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen aufweisenden Körper kann eine präzise relative Anordnung der gekrümmten lichtbrechenden Grenzflächen ermöglichen und damit eine Justage obsolet machen und die Fertigungskosten deutlich reduzieren.

[0057] Ein Endoskop, wie es hier beschrieben ist, umfasst insbesondere ferner eine Lichtlenkeinrichtung an dem distalen Ende des Endoskops zum Lenken von aus einer distalen Lichtaustrittsfläche eines Lichtleiters oder aus einer Lichtaustrittsfläche einer Lichtquelle austretendem Beleuchtungslicht, wobei die Lichtlenkeinrichtung eine lichtbrechende Grenzfläche, die gegenüber der Längsachse des distalen Endes des Lichtleiters oder gegenüber einer Flächennormalen der Lichtaustrittsfläche der Lichtquelle gekippt ist, aufweist.

[0058] Das Endoskop umfasst insbesondere einen Lichtleiter in Gestalt einer oder mehrerer Lichtleitfasern zum Übertragen von Beleuchtungslicht zu dem distalen Ende des Endoskops. Die Lichtlenkeinrichtung kann auf

eine Lichtaustrittsfläche des Lichtleiters oder der Lichtquelle unmittelbar aufgedruckt sein.

[0059] Die Lichtlenkeinrichtung kann mehrere lichtbrechende Grenzflächen aufweisen, durch die bei der vorgesehenen Verwendung Beleuchtungslicht tritt, das danach Objekte innerhalb des Sichtfelds beleuchtet. Die lichtbrechenden Grenzflächen der Lichtlenkeinrichtung sind insbesondere so angeordnet, dass Beleuchtungslicht nacheinander durch die lichtbrechenden Grenzflächen tritt. Die lichtbrechenden Grenzflächen sind also insbesondere bezogen auf die Ausbreitungsrichtung des Beleuchtungslichts hintereinander und nicht nebeneinander angeordnet.

[0060] Eine lichtbrechende Grenzfläche der Lichtlenkeinrichtung ist insbesondere insofern gegenüber der Längsachse des distalen Endes des Lichtleiters oder gegenüber der Flächennormale der Lichtaustrittsfläche der Lichtquelle gekippt, als die mittlere Flächennormale oder die Flächennormale am Flächenmittelpunkt der lichtbrechenden Grenzfläche nicht parallel zu der Längsachse des distalen Endes des Lichtleiters oder zu der Flächennormale der Lichtaustrittsfläche der Lichtquelle ist.

[0061] Die gekippte Anordnung von einer oder mehreren lichtbrechenden Grenzflächen der Lichtlenkeinrichtung kann ein Krümmen des distalen Endes des Lichtleiters oder ein Kippen der Lichtquelle ersetzen oder obsolet machen.

[0062] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist die lichtbrechende Grenzfläche der Lichtlenkeinrichtung insbesondere nicht rotationssymmetrisch.

[0063] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, ist die lichtbrechende Grenzfläche der Lichtlenkeinrichtung insbesondere kein Ausschnitt einer rotationssymmetrischen gekrümmten Fläche.

[0064] Ein Endoskop, wie es hier beschrieben ist, umfasst insbesondere ferner ein Stützgerüst, das die Abbildungseinrichtung und die Lichtlenkeinrichtung miteinander starr verbindet.

[0065] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, sind die Abbildungseinrichtung und die Lichtlenkeinrichtung insbesondere zumindest entweder miteinander mechanisch starr verbunden oder weisen das gleiche optisch transparente Material auf oder sind monolithisch ausgebildet oder sind gleichzeitig hergestellt.

[0066] Insbesondere die gleichzeitige Herstellung (beispielsweise im Rahmen desselben 3D-Druckprozesses) aus dem gleichen optisch transparenten Material kann eine präzise und doch kostengünstige Fertigung ermöglichen.

[0067] Bei einem Endoskop, wie es hier beschrieben ist, weist die Lichtlenkeinrichtung insbesondere eine Ausnehmung zur Aufnahme des distalen Endes eines Lichtleiters auf, wobei die Ausnehmung die Position und die Orientierung des distalen Endes des Lichtleiters definiert.

[0068] Die Ausnehmung ist insbesondere nach proximal offen. Die Ausnehmung weist insbesondere die Gestalt eines Sacklochs, dessen Ende die Position der

Lichtaustrittsfläche des Lichtleiters definiert, auf. Die Gestalt der Ausnehmung ist insbesondere so gewählt, dass der Lichtleiter in lateraler Richtung formschlüssig und mit geringem Spiel gehalten ist.

[0069] Ein Verfahren zum Herstellen einer Abbildungseinrichtung für ein Endoskop umfasst insbesondere einen Schritt des Herstellens der Abbildungseinrichtung mittels 3D-Druck.

[0070] Ein Verfahren zum Herstellen einer Abbildungseinrichtung für ein Endoskop umfasst insbesondere einen Schritt des Herstellens einer Gussform für die Abbildungseinrichtung und einen Schritt eines Herstellens der Abbildungseinrichtung durch Abguss der Gussform, wobei die Gussform mittels 3D-Druck hergestellt wird.

[0071] Die hier beschriebenen Verfahren zum Herstellen einer Abbildungseinrichtung sind insbesondere geeignet zum Herstellen einer Abbildungseinrichtung für ein Endoskop, wie es hier beschrieben ist, und können Teil eines Verfahrens zum Herstellen eines Endoskops sein. Insbesondere können die hier beschriebenen Verfahren zum Herstellen einer Abbildungseinrichtung mit Merkmalen der Abbildungseinrichtung eines hier beschriebenen Endoskops ausgebildet sein.

Kurzbeschreibung der Figuren

[0072] Nachfolgend werden Ausführungsformen anhand der beigefügten Figuren näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine schematische Darstellung eines Endoskops;
- Figur 2 eine schematische Darstellung eines distalen Endes eines Endoskops;
- Figur 3 eine schematische Darstellung eines distalen Endes eines weiteren Endoskops;
- Figur 4 eine schematische Darstellung eines distalen Endes eines weiteren Endoskops;
- Figur 5 eine schematische axonometrische Darstellung einer Abbildungseinrichtung;
- Figur 6 ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen einer Abbildungseinrichtung.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0073] Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Endoskops 10 mit einem proximalen Ende 11 und einem distalen Ende 12. Das Endoskop 10 weist eine in Figur 1 durch einen Pfeil angedeutete Blickrichtung 18 und ein Blickfeld oder Sichtfeld, dessen Ränder durch gestrichelte Linien angedeutet sind, auf.

[0074] Das Endoskop 10 weist einen langen und dünnen Schaft 20 mit einem proximalen Ende 21 nahe dem

proximalen Ende 11 des Endoskops auf. Bei dem in Figur 1 dargestellten Beispiel ist der Querschnitt des Schafts 20 über die gesamte Länge des Schafts 20 konstant oder im Wesentlichen konstant. Abweichend von der Darstellung in Figur 1 kann der Querschnitt des Schafts variieren. Ein distales Ende 22 des Schafts 20 bildet das distale Ende 12 des Endoskops 10. Bei dem dargestellten Beispiel ist die Blickrichtung 18 des Endoskops 10 nicht parallel zu der Längsachse des Schafts 20 nahe dessen distalem Ende 22.

[0075] Bei dem dargestellten Beispiel ist der Schaft 20 flexibel. Das Endoskop 10 ist beispielsweise ein Sialendoskop zur optischen Inspektion eines Speichergangs, ein Fetoskop zur optischen Inspektion eines Fötus in der Fruchtblase der Mutter, ein Zystoskop zur Blasenspiegelung. Alternativ kann das Endoskop 10 beispielsweise für die optische Inspektion eines Wurzelkanals eines Zahns in der Endodontie oder für die Duktoskopie, das heißt für die optische Inspektion eines Milchkanals einer Brustdrüse vorgesehen und ausgebildet sein.

[0076] Das Endoskop 10 weist an seinem distalen Ende 12 eine optische Abbildungseinrichtung zur Erzeugung eines reellen Bilds auf. Das Endoskop 10 kann ferner einen oder mehrere Bildsensoren an seinem distalen Ende 12 zum Erfassen des von der Abbildungseinrichtung erzeugten reellen Bilds aufweisen. Alternativ kann das Endoskop 10 eine Bildübertragungseinrichtung zum Weiterleiten des von der Abbildungseinrichtung erzeugten reellen Bilds zu dem proximalen Ende 11 des Endoskops aufweisen. In diesem Fall kann das zu dem proximalen Ende 11 weitergeleitete reelle Bild durch ein Okular, wie es in Figur 1 angedeutet ist, betrachtet und/oder mittels eines oder mehrerer Bildsensoren erfasst werden, die ein Bildsignal erzeugen. Ein oder mehrere Bildsensoren können in das Endoskop 10 nahe dessen proximalem Ende 11 integriert oder Bestandteil einer Kamera, die mit dem Okular des Endoskops optisch und mechanisch koppelbar ist, sein.

[0077] Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Schnitts durch ein distales Ende 12 eines Endoskops, das in einigen Merkmalen, Eigenschaften und Funktionen dem anhand der Figur 1 dargestellten Endoskop ähneln kann. Die Schnittebene der Figur 2 enthält eine Längsachse 28 des distalen Endes 22 des Schafts 20, die in Figur 2 als Symmetrieachse der äußeren Oberfläche eines Mantelbauteils 24 des Schafts 20 dargestellt ist. Schnittflächen optisch nicht transparenter Bauteile sind in Figur 2 schraffiert dargestellt. Schnittflächen optisch transparenter Bauteile sind in Figur 2 ohne Schraffur dargestellt.

[0078] Die Blickrichtung 18 des Endoskops 10 schließt mit der Längsachse 28 des Schafts 20 und mit deren Parallele 28' einen Winkel α (alpha) ein. Das Sichtfeld oder Blickfeld des Endoskops umfasst einen Winkel β (beta).

[0079] An dem distalen Ende 22 des Schafts 20 ist eine Öffnung 25 in dem optisch nicht transparenten Mantelbauteil 24 vorgesehen. Ein erster optisch transparenter

Körper 32 verschließt die Öffnung 25 in dem Mantelbauteil 24 insbesondere fluiddicht oder hermetisch. Eine Lichteintrittsfläche 31 des ersten transparenten Körpers 32 bildet eine Lichteintrittsfläche des Endoskops. Bei dem in Figur 2 dargestellten Beispiel ist die Lichteintrittsfläche 31 des ersten transparenten Körpers 32 bündig mit der äußeren Oberfläche des Mantelbauteils 24 des Schafts 20 angeordnet. Der erste transparente Körper 32 weist eine Lichtaustrittsfläche 33 auf. Bei dem dargestellten Beispiel sind sowohl die Lichteintrittsfläche 31 als auch die Lichtaustrittsfläche 33 des ersten transparenten Körpers 32 gekrümmt.

[0080] An dem distalen Ende 22 des Schafts 20 und innerhalb des Mantelbauteils 24 ist ferner ein zweiter optisch transparenter Körper 35 mit einer Lichteintrittsfläche 34 und einer Lichtaustrittsfläche 36 angeordnet. Der zweite transparente Körper 35 kann unmittelbar auf dem Bildsensor 60 gedruckt oder auf andere Weise unmittelbar an der Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 erzeugt und dabei stoffschlüssig mit ihm verbunden sein. Alternativ kann der zweite transparente Körper 35 zunächst separat hergestellt sein, wonach seine Lichtaustrittsfläche 36 mit einer Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 gefügt wird.

[0081] Der zweite transparente Körper 35 kann wie in Figur 2 angedeutet eine Ausnehmung aufweisen, in die der Bildsensor 60 eingesetzt ist. Formschluss zwischen der Ausnehmung und dem Bildsensor 60 kann eine präzise Ausrichtung des Bildsensors 60 relativ zu dem zweiten transparenten Körper 35 auch im Fall einer zunächst separaten Herstellung ermöglichen.

[0082] Mehrere Stützstreben 39 verbinden den ersten transparenten Körper 32 und den zweiten transparenten Körper 35 mechanisch starr. Die Enden der Stützstreben 39 sind mit Randbereichen des ersten transparenten Körpers 32 und des zweiten transparenten Körpers 35 verbunden. Bei dem dargestellten Beispiel liegen die Stützstreben 39 außerhalb der in Figur 2 dargestellten Schnittebene. Deshalb sind die Konturen der Stützstreben 39 in punktierten Linien angedeutet.

[0083] Die transparenten Körper 32, 35 und die Stützstreben 39 sind insbesondere gleichzeitig und aus dem gleichen optisch transparenten Material gebildet. Die optisch transparenten Körper 32, 35 und optional auch die Stützstreben 39 sind insbesondere mittels eines auf Mehrphotonen-Absorption (insbesondere Zwei-Photonen-Absorption) beruhenden 3D-Druckverfahrens gebildet. Alternativ kann einer der transparenten Körper 32, 35 oder beide transparente Körper 32, 35 durch Abguss einer Gussform hergestellt werden, wobei die Gussform insbesondere durch einen 3D-Druck, der auf Mehrphotonen-Absorption (insbesondere Zwei-Photonen-Absorption) beruhen kann, hergestellt ist.

[0084] Alternativ können die transparenten Körper 32, 35 aus unterschiedlichen Materialien gebildet sein. Jeder der beiden transparenten Körper 32, 35 kann alternativ aus mehreren Teilkörpern aus unterschiedlichen Materialien gebildet sein, um beispielsweise eine chromati-

sche Aberration zu reduzieren.

[0085] Nahe dem distalen Ende 22 des Schafts 20 ist ferner ein Bildsensor 60 innerhalb des Mantelbauteils 24 angeordnet. Eine Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 liegt flächig an der ebenen Lichtaustrittsfläche 36 des zweiten transparenten Körpers 35 an und ist mit dieser insbesondere stoffschlüssig verbunden. Der Bildsensor 60 weist eine Vielzahl kleiner lichtempfindlicher Bereiche, die als Bildpunkte oder Pixel bezeichnet werden, in einer beispielsweise matrixförmigen Anordnung auf. Diese Bildpunkte oder Pixel sind in einer dünnen Schicht nahe der Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 angeordnet. Vereinfachend wird hier angenommen, dass die Bildpunkte oder Pixel unmittelbar an der Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 angeordnet sind.

[0086] Ein in der matrixförmigen Anordnung von Bildpunkten oder Pixeln erzeugtes Bild wird von dem Bildsensor 60 erfasst. Der Bildsensor 60 erzeugt ein analoges oder digitales und insbesondere elektrisches Bildsignal, das das erfasste Bild repräsentiert.

[0087] Von einem Objekt außerhalb des Endoskops ausgehendes Licht kann durch die Lichteintrittsfläche 31 des ersten transparenten Körpers 32 in das distale Ende 12 des Endoskops eintreten, durch die Lichtaustrittsfläche 33 des ersten transparenten Körpers 32 aus dem ersten transparenten Körper 32 austreten, durch die Lichteintrittsfläche 34 des zweiten transparenten Körpers 35 in diesen eintreten, durch die Lichtaustrittsfläche 36 des zweiten transparenten Körpers 35 aus diesem austreten und gleichzeitig durch die Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 in diesen eintreten. Die Lichteintrittsfläche 31 und die Lichtaustrittsfläche 33 des ersten transparenten Körpers 32 und die Lichteintrittsfläche 34 des zweiten transparenten Körpers 35 sind jeweils gekrümmt. In Figur 2 sind insbesondere die Lichtaustrittsfläche 33 des ersten transparenten Körpers 32 und die Lichteintrittsfläche 34 des zweiten transparenten Körpers 35 jeweils als asphärisch (d. h. nicht-sphärisch) gekrümmt angedeutet.

[0088] Der erste transparenten Körper 32 weist einen Brechungsindex auf, der sich von dem Brechungsindex des Mediums (insbesondere Luft oder Kohlenstoffdioxid oder ein anderes Gas oder Wasser oder eine wässrige Lösung), in dem das distale Ende 22 des Schafts 20 sich bei der vorgesehenen Verwendung des Endoskops befindet, unterscheidet. Deshalb ist die Lichteintrittsfläche 31 des ersten transparenten Körpers 32 eine lichtbrechende Grenzfläche. Zwischen den transparenten Körpern 32, 35 befindet sich ein Medium (beispielsweise Luft oder Stickstoff), dessen Brechungsindex sich von den Brechungsindizes der Materialien der transparenten Körper 32, 35 unterscheidet. Deshalb sind auch die Lichtaustrittsfläche 33 des ersten transparenten Körpers 32 und die Lichteintrittsfläche 34 des zweiten transparenten Körpers 35 lichtbrechende Grenzflächen.

[0089] Sofern die Brechungsindizes der Materialien des zweiten transparenten Körpers 35 und des Bildsensors 60 sich unterscheiden, ist auch die durch die

Lichtaustrittsfläche 36 des zweiten transparenten Körpers 35 und die Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 gebildete Grenzfläche lichtbrechend. Die lichtbrechende Eigenschaft dieser Grenzfläche 36, 63 zwischen dem zweiten transparenten Körper 35 und dem Bildsensor 60 spielt aber nur insoweit eine Rolle als die als Bildpunkte oder Pixel bezeichneten lichtempfindlichen Bereiche des Bildsensors 60, die zur Erzeugung eines Bildsignals verwendet werden, von der Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 beabstandet sind. Wie erwähnt wird hier vereinfachend davon ausgegangen, dass diese lichtempfindlichen Bereiche des Bildsensors 60 dünn und unmittelbar an der Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 angeordnet sind.

[0090] Jede der lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34 ist gekrümmt. Jede der lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34 ist insbesondere asphärisch gekrümmt. Dies ist in Figur 2 insbesondere bei der Lichtaustrittsfläche 33 des ersten transparenten Körpers 32 erkennbar angedeutet. Jede der lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34 ist insbesondere auch nicht rotationssymmetrisch. Dies ist bei der Darstellung in Figur 2 insbesondere bei den lichtbrechenden Grenzflächen 33, 34 erkennbar angedeutet. Jede der lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34 ist insbesondere ferner auch kein Ausschnitt aus einer rotationssymmetrischen Fläche. Jede der lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34 ist insbesondere als Freiformfläche ausgebildet und beispielsweise zumindest stückweise durch eine oder mehrere polynomiale Funktionen beschreibbar.

[0091] Zumindest ein Teil der lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34 (bei dem in Figur 2 dargestellten Beispiel: alle lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34) sind gegeneinander und/ oder gegenüber der Längsachse 28 des distalen Endes 22 des Schafts 20 und der Flächennormale der Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 gekippt. Dies bedeutet insbesondere, dass die Flächennormalen der lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34 an deren Flächenmittelpunkten oder an deren Scheiteln oder an deren Punkten mit maximaler Krümmung oder die jeweils über die Grenzflächen gemittelten Flächennormalen der lichtbrechenden Grenzflächen nicht parallel zueinander und/ oder nicht parallel zu der Längsachse 28 des Schafts 20 oder zu der Flächennormale der Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 sind.

[0092] Von Objekten außerhalb des distalen Endes 22 des Schafts 20 ausgehendes Licht kann durch die Lichteintrittsfläche 31 in den Schaft 20 eintreten und von der Lichteintrittsfläche 31 und den weiteren lichtbrechenden Grenzflächen 33, 34 gebrochen werden. Der erste transparente Körper 32 und der zweite transparente Körper 35 bilden eine optische Abbildungseinrichtung, die von Gegenständen innerhalb einer vorgesehenen Gegenstandsfläche ein scharfes Bild in den Bildpunkten oder Pixeln des Bildsensors 60 an dessen Lichteintrittsfläche 63 erzeugt. Dies ist in Figur 2 durch gestrichelte Linien angedeutet.

[0093] Bei dem dargestellten Beispiel bewirken die ge-

krümmten, zumindest teilweise weder sphärisch noch anders rotationssymmetrisch gekrümmten und gegeneinander gekippten lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34, dass die Blickrichtung 18 nicht parallel zu der Längsachse 28 des Schafts 20 an dessen distalem Ende 22 und nicht parallel zu der Flächennormale der Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 ist, dass die vorbestimmten Gegenstandsfläche, die scharf abgebildet wird, eben oder im Wesentlichen eben ist, und dass die vorbestimmte Gegenstandsfläche, die scharf abgebildet wird, orthogonal oder im Wesentlichen orthogonal zu der Längsachse 28 des Schafts 20 an dessen distalem Ende 22 ist. Ferner kann die zumindest teilweise asphärische und nicht rotationssymmetrische Ausgestaltung und gegeneinander gekippte Anordnung der lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34 eine Verzerrung des erzeugten Bilds, also eine Variation des Abbildungsmaßstabs innerhalb des Bilds und abhängig von der Richtung, bewirken.

[0094] Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Schnitts durch das distale Ende 12 eines weiteren Endoskops, das in einigen Merkmalen, Eigenschaften und Funktionen den anhand der Figuren 1 und 2 dargestellten Endoskopen ähnelt. Die Art der Darstellung, insbesondere die Position und Orientierung der Schnittebene entspricht derjenigen der Figur 2. Nachfolgend sind insbesondere Merkmale, Eigenschaften und Funktionen beschrieben, in denen das Endoskop, dessen distales Ende 12 in Figur 3 dargestellt ist, sich von den anhand der Figuren 1 und 2 dargestellten Endoskopen unterscheidet.

[0095] Das Endoskop, dessen distales Ende in Figur 3 dargestellt ist, unterscheidet sich von dem anhand der Figur 2 dargestellten Endoskop insbesondere dadurch, dass kein Bildsensor am distalen Ende 22 des Schafts 20 vorgesehen ist. Stattdessen weist das Endoskop eine Bildübertragungseinrichtung 70 auf, die in Figur 3 beispielhaft als geordnetes Bündel von Lichtleitfasern dargestellt ist.

[0096] Eine Lichteintrittsfläche 73 der Bildübertragungseinrichtung 70 liegt flächig an der Lichtaustrittsfläche 36 des zweiten transparenten Körpers 35 an und kann mit dieser flächig gefügt sein, beispielsweise durch eine Klebung oder Schweißung. Alternativ kann der zweite transparente Körper 35, beispielsweise durch 3D-Druck, unmittelbar an dem distalen Ende der Bildübertragungseinrichtung 70 hergestellt und dabei stoffschlüssig mit der Lichteintrittsfläche 73 der Bildübertragungseinrichtung 70 verbunden sein.

[0097] Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Schnitts durch ein distales Ende 12 eines weiteren Endoskops, das in einigen Merkmalen, Eigenschaften und Funktionen den anhand der Figuren 1 bis 3 dargestellten Endoskopen, insbesondere dem anhand der Figur 2 dargestellten Endoskop ähnelt. Die Art der Darstellung, insbesondere Position und Orientierung der Schnittebene, entspricht derjenigen der Figuren 2 und 3. Nachfolgend sind insbesondere Merkmale, Eigenschaften

und Funktionen des Endoskops, dessen distales Ende 12 in Figur 4 dargestellt ist, in denen dieses sich von den anhand der Figuren 1 bis 3 dargestellten Endoskopen unterscheidet, dargestellt.

[0098] Das Endoskop, dessen distales Ende 12 in Figur 4 dargestellt ist, weist einen Lichtleiter 14 auf, der sich in dem Schaft 20 des Endoskops von dessen proximalem Ende bis zu dessen distalem Ende 12 erstreckt. Das distale Ende 15 des Lichtleiters 14 ist in einer Bohrung 51 eines ersten transparenten Körpers 52 einer Lichtlenkeinrichtung angeordnet. Die Lichtlenkeinrichtung umfasst neben dem ersten transparenten Körper 52 einen zweiten transparenten Körper 55, der eine zweite Öffnung 26 in dem Mantelbauteil 24 fluiddicht oder hermetisch dicht verschließt.

[0099] Der erste transparente Körper 52 der Lichtlenkeinrichtung weist eine gekrümmte Lichtaustrittsfläche 53 auf, die an einer von der Ausnehmung 51 abgewandten Seite des ersten transparenten Körpers 52 der Lichtlenkeinrichtung angeordnet ist. Die Ausnehmung 51 definiert formschlüssig die Position und Orientierung des distalen Endes 15 des Lichtleiters 14 und damit auch einer Lichtaustrittsfläche 16 des Lichtleiters 14 relativ zu der Lichtaustrittsfläche 53 des ersten transparenten Körpers 52 der Lichtlenkeinrichtung. Das distale Ende 15 des Lichtleiters 14 ist in der Ausnehmung 51 des ersten transparenten Körpers 52 der Lichtlenkeinrichtung beispielsweise durch eine Klebung oder eine Schweißung stoffschlüssig befestigt.

[0100] Der zweite transparente Körper 55 der Lichtlenkeinrichtung weist eine der Lichtaustrittsfläche 53 des ersten transparenten Körpers 52 zugewandte Lichteintrittsfläche 54 und an einer von der Lichteintrittsfläche 54 abgewandten Seite eine Lichtaustrittsfläche 56 auf. Die Lichtaustrittsfläche 56 des zweiten transparenten Körpers 55 ist Teil der äußeren Oberfläche des distalen Endes 22 des Schafts 20 des Endoskops. Bei dem dargestellten Beispiel ist die Lichtaustrittsfläche 56 des zweiten transparenten Körpers 55 der Lichtlenkeinrichtung bündig mit umgebenden Bereichen der äußeren Oberfläche des Mantelbauteils 24 angeordnet.

[0101] Der erste transparente Körper 52 und der zweite transparente Körper 55 der Lichtlenkeinrichtung können das gleiche oder unterschiedliche Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindizes aufweisen. Die Brechungsindizes der Materialien der transparenten Körper 52, 55 der Lichtlenkeinrichtung unterscheiden sich von dem Brechungsindex des Gases (beispielsweise Luft oder Stickstoff) in dem Zwischenraum zwischen den transparenten Körpern 52, 55 in der zweiten Öffnung 26 in dem Mantelbauteil 24. Deshalb sind die Lichtaustrittsfläche 53 des ersten transparenten Körpers und die Lichteintrittsfläche 54 des zweiten transparenten Körpers 55 der Lichtlenkeinrichtung lichtbrechende Grenzflächen. Der zweite transparenten Körper 55 der Lichtlenkeinrichtung weist einen Brechungsindex auf, der sich von dem Brechungsindex des Mediums (insbesondere Luft oder Kohlenstoffdioxid oder ein anderes Gas oder Wasser

oder eine wässrige Lösung), in dem das distale Ende 22 des Schafts 20 sich bei der vorgesehenen Verwendung des Endoskops befindet, unterscheidet. Deshalb ist auch die Lichtaustrittsfläche 56 des zweiten transparenten Körpers 55 der Lichtlenkeinrichtung eine lichtbrechende Grenzfläche.

[0102] Bei dem dargestellten Beispiel ist die Lichteintrittsfläche 54 des zweiten transparenten Körpers 55 der Lichtlenkeinrichtung gekrümmt, die Lichtaustrittsfläche 56 des zweiten transparenten Körpers 55 ist eben. Insbesondere ist mindestens eine der lichtbrechenden Grenzflächen 53, 54, 56 asphärisch, nicht rotationssymmetrisch oder nicht Ausschnitt aus einer rotationssymmetrischen Fläche.

[0103] Bei dem dargestellten Beispiel sind die lichtbrechenden Grenzflächen 53, 54, 56 ferner gegeneinander gekippt in dem Sinn, der oben für die lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34 der optischen Abbildungseinrichtung 32, 35 beschrieben ist.

[0104] Die transparenten Körper 52, 55 der Lichtlenkeinrichtung steuern mit ihren gekrümmten und gegeneinander gekippten lichtbrechenden Grenzflächen 53, 54, 56 die Verteilung von Beleuchtungslicht, das von dem Lichtleiter 14 zu dem distalen Ende 12 des Endoskops übertragen wird und dort durch die transparenten Körper 52, 55 der Lichtlenkeinrichtung hindurchtritt und aus dem distalen Ende 22 des Schafts 20 austritt. Die Verteilung des Beleuchtungslichts ist insbesondere an das Sichtfeld oder Blickfeld des Endoskops angepasst.

[0105] Der von dem distalen Ende 15 des Lichtleiters 14 ausgehende Lichtstrom und die Grenzen des ausgeleuchteten Bereichs sind in Figur 4 durch punktierte dünne Linien angedeutet.

[0106] Der Lichtleiter 14 kann Beleuchtungslicht, das von einer Lichtquelle in dem proximalen Ende des Endoskops erzeugt oder mittels eines Lichtleitkabels von einer externen Lichtquelle zu dem proximalen Ende des Endoskops übertragen wird, zu dem distalen Ende 12 des Endoskops übertragen. Alternativ kann der Lichtleiter 14 Beleuchtungslicht, das von einer Lichtquelle in dem Schaft 20 nahe dessen distalem Ende erzeugt wird, zu der Lichtlenkeinrichtung 52, 55 übertragen. Alternativ und abweichend von der Darstellung in Figur 4 kann anstelle des Lichtleiters 14 eine Lichtquelle vorgesehen sein, die unmittelbar an der Lichtlenkeinrichtung 52, 55, beispielsweise in der Ausnehmung 51 oder an einer Lichteintrittsfläche des ersten transparenten Körpers 52 der Lichtlenkeinrichtung angeordnet ist.

[0107] Bei dem in Figur 4 dargestellten Beispiel weist das Endoskop einen Bildsensor 60 innerhalb des Mantelbauteils 24 nahe dem distalen Ende 22 des Schafts 20 auf, ähnlich wie dies bei dem anhand der Figur 2 dargestellten Beispiel der Fall ist. Alternativ kann anstelle des Bildsensors 60 eine Bildübertragungseinrichtung vorgesehen sein, beispielsweise ein geordnetes Bündel von Lichtleitfasern wie es anhand der Figur 3 dargestellt ist.

[0108] Figur 5 zeigt eine schematische axonometri-

sche Darstellung einer optischen Abbildungseinrichtung 30 und eines Bildsensors 60, die in einigen Merkmalen, Eigenschaften und Funktionen den Abbildungseinrichtungen der anhand der Figuren 2 bis 4 dargestellten Endoskope ähneln. Die Abbildungseinrichtung 30 ist teilweise aufgeschnitten dargestellt, so dass Konturen von Schnittebenen entlang zweier orthogonaler Halbebenen sichtbar sind. Der Bildsensor 60 ist einfach axonometrisch ohne Schnitt und vereinfachend als Quader dargestellt.

[0109] Wie bei den anhand der Figuren 2 bis 4 dargestellten Beispielen bilden gekrümmte und gegeneinander gekippte Lichteintrittsflächen und Lichtaustrittsflächen 31, 33, 34 zweier transparenter Körper 32, 35 lichtbrechende Grenzflächen mit abbildender Wirkung. Eine Lichtaustrittsfläche 36 des zweiten transparenten Körpers 35 ist mit einer Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 gefügt. Die Krümmung der lichtbrechenden Grenzflächen 31, 33, 34 und ihre gegeneinander und gegenüber der Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 gekippte Anordnung schaffen eine Blickrichtung, die nicht orthogonal zu der Lichteintrittsfläche 63 des Bildsensors 60 ist.

[0110] An der Lichteintrittsfläche 31 des ersten transparenten Körpers 32 ist ein diffraktives optisches Element 40 aus einer Mehrzahl von ringförmigen (jedoch keinesfalls notwendigerweise kreisringförmigen) Stufen vorgesehen. Das diffraktive optische Element 40 weist eine anomale Dispersion auf und kann so die chromatische Aberration der optischen Abbildungseinrichtung 30 korrigieren oder vermindern.

[0111] Abweichend von der Darstellung in Figur 5 kann alternativ oder zusätzlich zu dem diffraktiven Element 40 an der Lichteintrittsfläche 31 des ersten transparenten Körpers 32 ein diffraktives optisches Element an der Lichtaustrittsfläche 33 des ersten transparenten Körpers 32 oder an der Lichteintrittsfläche 34 des zweiten transparenten Körpers 35 der optischen Abbildungseinrichtung 30 vorgesehen sein.

[0112] Der erste Körper 32 und der zweite Körper 35 der optischen Abbildungseinrichtung 30 sind durch mehrere parallele Stützstreben 39, die mit den transparenten Körpern 32, 35 eine Käfigform bilden, mechanisch starr verbunden. Die transparenten Körper 32, 35 und die Stützstreben 39 können aus dem gleichen Material gebildet oder insbesondere während des gleichen Herstellungsschritts - beispielsweise durch 3D-Druck - erzeugt werden.

[0113] Figur 6 zeigt ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen einer Abbildungseinrichtung für ein Endoskop. Das Verfahren ist insbesondere zur Herstellung einer Abbildungseinrichtung mit den anhand der Figuren 2 bis 5 dargestellten Eigenschaften und/oder für ein Endoskop, wie es anhand der Figuren 1 bis 4 dargestellt ist, geeignet. Das Verfahren ist jedoch auch zur Herstellung einer Abbildungseinrichtung geeignet, die Merkmale Eigenschaften und Funktionen aufweist, die von den anhand der Figuren 1 bis 5 dargestell-

ten abweichen. Nachfolgend sind beispielhaft Bezugszeichen aus den Figuren 1 bis 5 verwendet, um das Verständnis zu vereinfachen.

[0114] Bei einem ersten Schritt 101 wird mittels 3D-Druck eine Gussform hergestellt. Bei einem zweiten Schritt 102 wird durch Abguss der Gussform eine Abbildungseinrichtung hergestellt. Die Gussform kann als verlorene Form ausgebildet sein, die nach dem Abguss zerstört werden muss, um die Abbildungseinrichtung als Gussteil vollständig freizulegen. Alternativ kann die Gussform wieder verwendbar sein.

Bezugszeichen

15 **[0115]**

10 **Endoskop**

11 proximales Ende des Endoskops 10

12 distales Ende des Endoskops 10

20 14 Lichtleiter zum Übertragen von Beleuchtungslicht

15 distales Ende des Lichtleiters 14

16 Lichtaustrittsfläche des Lichtleiters 14

18 Blickrichtung des Endoskops 10

20 **Schaft** des Endoskops 10

25 21 proximales Ende des Schafts 20

22 distales Ende des Schafts 20

24 Mantelbauteil des Schafts 20

25 erste Öffnung in dem Mantelbauteil 24, zur Aufnahme des ersten transparenten Körpers 32 der optischen Abbildungseinrichtung 30

30 26 zweite Öffnung in dem Mantelbauteil 24, zur Aufnahme des ersten transparenten Körpers 32 einer Lichtlenkeinrichtung

28 Längsachse des Schafts 20 oder des distalen Endes 23 des Schafts 20

35 28' Parallele der Längsachse 28

30 **optische Abbildungseinrichtung** an dem distalen Ende 23 des Schafts 20

31 Lichteintrittsfläche des ersten transparenten Körpers 32, der optischen Abbildungseinrichtung 30 und des Endoskops 10

32 **erster transparenter Körper** der optischen Abbildungseinrichtung 30

33 Lichtaustrittsfläche des ersten transparenten Körpers 32 der optischen Abbildungseinrichtung 30

45 34 Lichteintrittsfläche des zweiten transparenten Körpers 35 der optischen Abbildungseinrichtung 30

50 35 **zweiter transparenter Körper** der optischen Abbildungseinrichtung 30

36 Lichtaustrittsfläche des zweiten transparenten Körpers 35 der optischen Abbildungseinrichtung 30

55 39 Stützstrebe zur starren mechanischen Verbindung des ersten transparenten Körpers 32 und des zweiten transparenten Körpers 35 der optischen Abbildungseinrichtung 30

- 40 stufenförmige Struktur an der Lichteintrittsfläche
31 des ersten transparenten Körpers 32 als dif-
fraktives optisches Element
- 51 Ausnehmung in dem ersten transparenten Kör-
per 52 einer Lichtlenkeinrichtung zum Aufneh-
men des distalen Endes des Lichtleiters 15 5
- 52 **erster transparenter Körper** der Lichtlenkein-
richtung
- 53 Lichtaustrittsfläche des ersten transparenten
Körpers 52 der Lichtlenkeinrichtung 10
- 54 Lichteintrittsfläche des zweiten transparenten
Körpers 55 der Lichtlenkeinrichtung
- 55 **zweiter transparenter Körper** der Lichtlenkein-
richtung
- 56 Lichtaustrittsfläche des zweiten transparenten
Körpers 55 der Lichtlenkeinrichtung 15
- 60 Bildsensor
- 63 Lichteintrittsfläche des Bildsensors 60
- 70 Bildübertragungseinrichtung
- 73 Lichteintrittsfläche der Bildübertragungseinrich-
tung 70 20
- 101 erster Schritt (Herstellen einer Gussform mittels
3D-Druck)
- 102 zweiter Schritt (Herstellen einer Abbildungsein-
richtung durch Abguss der Gussform) 25

Patentansprüche

1. **Medizinisches Endoskop** (10) mit: 30
- einem **Schaft** (20) mit einem distalen Ende (23);
einer optischen **Abbildungseinrichtung** (30)
an dem distalen Ende (23) des Schafts (20) zum
Erzeugen eines reellen Bilds eines mittels des
medizinischen Endoskops (10) betrachteten
Objekts; 35
- zumindest entweder einer Bildübertragungsein-
richtung (70) zum Weiterleiten des reellen Bilds
oder einem **Bildsensor** (60) zum Erfassen des
reellen Bilds, 40
- wobei die Abbildungseinrichtung (30) **ge-
krümmte lichtbrechende Grenzflächen** (31,
33, 34) aufweist, die gegeneinander **gekippt**
sind, 45
- wobei die **Blickrichtung** (18) des medizini-
schen Endoskops (10) **nicht parallel** zu der
Längsachse (28) des distalen Endes (22) des
Schafts (20) des medizinischen Endoskops (10)
ist, 50
- wobei **keine reflektierende** Fläche lichtstrom-
aufwärts des reellen Bilds vorgesehen.
2. Medizinisches Endoskop (10) nach dem vorange-
henden Anspruch, bei dem eine der gekrümmten
lichtbrechenden Grenzflächen (31, 33, 34) der Ab-
bildungseinrichtung (30) **nicht rotationssymmet-
risch** ist. 55

3. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der vor-
angehenden Ansprüche, bei dem eine der ge-
krümmten lichtbrechenden Grenzflächen (31, 33,
34) der Abbildungseinrichtung (30) **kein** Ausschnitt
aus einer **rotationssymmetrischen** gekrümmten
Fläche ist.
4. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der vor-
angehenden Ansprüche, ferner mit:
einer Blendenstruktur zum lateralen Beschneiden ei-
nes optischen Pfads, wobei die Blendenstruktur zu-
mindest entweder gleichzeitig mit der Abbildungs-
einrichtung (30) hergestellt oder in die Abbildungs-
einrichtung (30) eingebettet ist
5. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der vor-
angehenden Ansprüche, bei dem die Abbildungs-
einrichtung (30) mittels auf Mehrphotonen-Absorp-
tion oder Mehrphotonen-Polymerisation beruhen-
dem 3D-Druck hergestellt ist.
6. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der vor-
angehenden Ansprüche, bei dem
die Abbildungseinrichtung (30) mittels **3D-Druck**
hergestellt ist,
die Abbildungseinrichtung (30) **unmittelbar auf** eine
distale Lichteintrittsfläche (73) einer Bildübertra-
gungseinrichtung (70) zum Weiterleiten des reellen
Bilds oder auf eine Lichteintrittsfläche (63) eines
Bildsensors (60) zum Erfassen des reellen Bilds
gedruckt ist.
7. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der vor-
angehenden Ansprüche, bei dem die Abbildungs-
einrichtung (30) mittels 3D-Druck aus mehreren **ver-
schiedenen Materialien** hergestellt ist.
8. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der vor-
angehenden Ansprüche, bei dem die Abbildungs-
einrichtung (30) eine als **diffraktives optisches Ele-
ment** (40) ausgebildete Grenzfläche (31) oder ein
anderes diffraktives optisches Element aufweist.
9. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der vor-
angehenden Ansprüche, bei dem
die Abbildungseinrichtung (30) insbesondere **meh-
rere** optisch **transparente** und bei der vorgesehe-
nen Verwendung von Licht, das von einem betrach-
teten Objekt ausgeht und zur Erzeugung des reellen
Bild beiträgt, durchsetzte **Körper** (32, 35) mit den
lichtbrechenden Grenzflächen (31, 33, 34, 36) auf-
weist,
eine **Stützeinrichtung** (39) die transparenten Kör-
per (32, 35) mechanisch starr verbindet,
die Stützeinrichtung (39) und die transparenten Kör-
per (32, 35) zumindest entweder aus dem **gleichen**
Material gebildet oder **gleichzeitig** hergestellt sind.

10. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, ferner mit:

einer **Lichtlenkeinrichtung** (52, 55) an dem distalen Ende (22) des medizinischen Endoskops (20) zum **Lenken** von aus einer distalen Lichtaustrittsfläche (16) eines Lichtleiters (14) oder aus einer Lichtaustrittsfläche einer Lichtquelle austretendem **Beleuchtungslicht**, wobei die Lichtlenkeinrichtung (52, 55) eine lichtbrechende **Grenzfläche** (53, 54, 56), gegenüber der Längsachse des distalen Endes (15) des Lichtleiters (14) oder gegenüber einer Flächennormalen der Lichtaustrittsfläche der Lichtquelle gekippt ist, aufweist.

11. Medizinisches Endoskop (10) nach dem vorangehenden Anspruch, bei dem die Abbildungseinrichtung (30) und die Lichtlenkeinrichtung (52, 55) zumindest entweder miteinander mechanisch **starr verbunden** sind oder das **gleiche optisch transparente Material** aufweisen oder **monolithisch** ausgebildet sind oder **gleichzeitig hergestellt** sind.

12. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der Ansprüche 10 und 11, ferner mit:
einem **Stützgerüst** (39), das die Abbildungseinrichtung (30) und die Lichtlenkeinrichtung (52, 55) miteinander starr verbindet.

13. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, bei dem die Lichtlenkeinrichtung (52, 55) eine Ausnehmung (51) zur Aufnahme des distalen Endes (15) eines Lichtleiters (14) aufweist, die Ausnehmung (51) die Position und die Orientierung des distalen Endes (15) des Lichtleiters (14) definiert.

14. Medizinisches Endoskop (10) nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem die lichtbrechende Grenzfläche (53, 54, 56) der Lichtlenkeinrichtung (52, 55) nicht rotationssymmetrisch ist.

15. **Verfahren zum Herstellen einer Abbildungseinrichtung** (30) für ein medizinisches Endoskop (10), mit folgenden Schritten:

Herstellen (101) einer **Gussform** für die Abbildungseinrichtung (30);
Herstellen (102) der **Abbildungseinrichtung** (30) durch Abguss der Gussform, wobei die Gussform mittels **3D-Druck** hergestellt wird.

Fig. 1

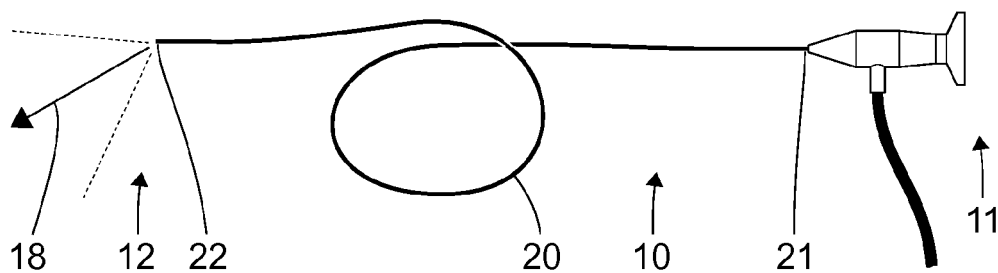


Fig. 2

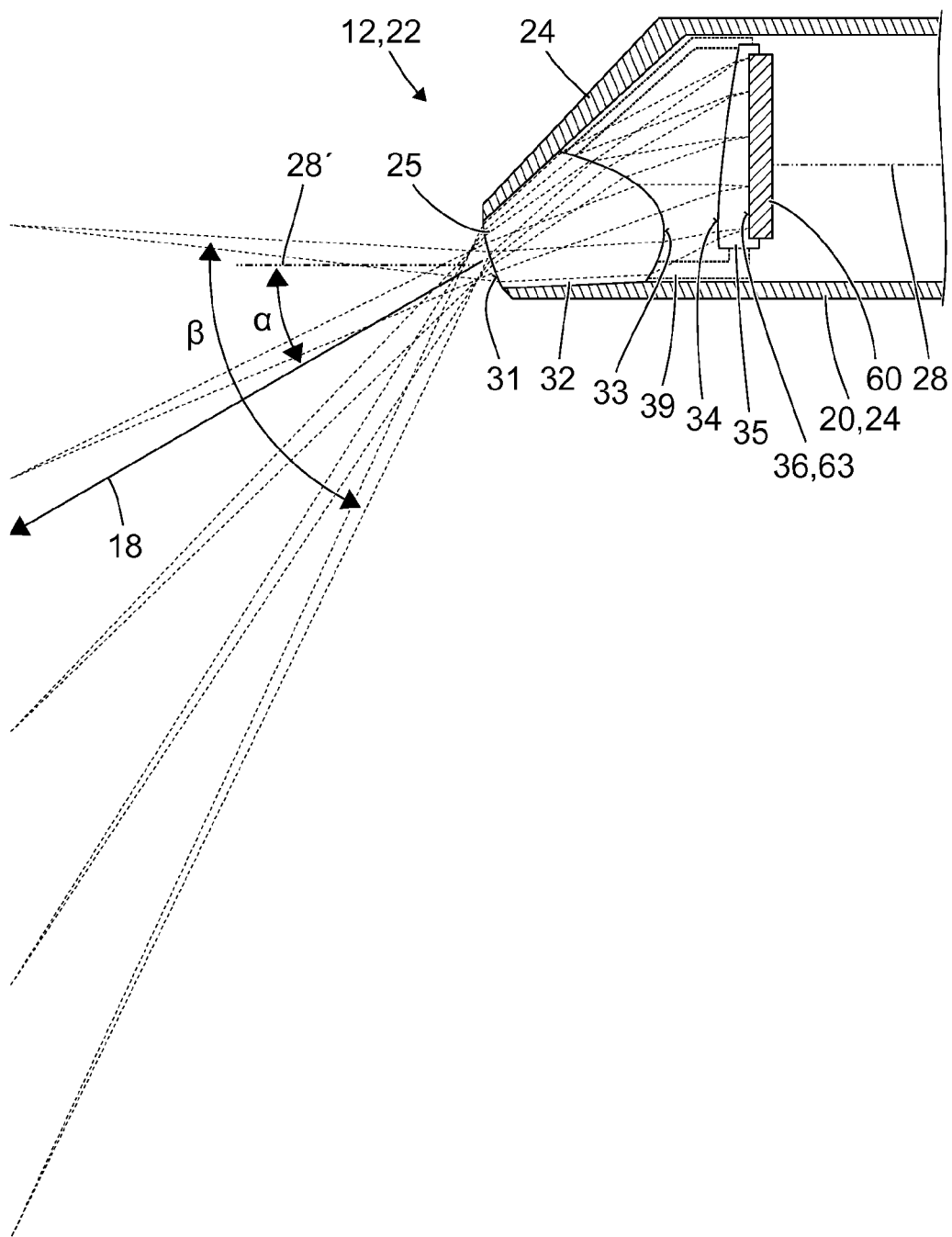


Fig. 3

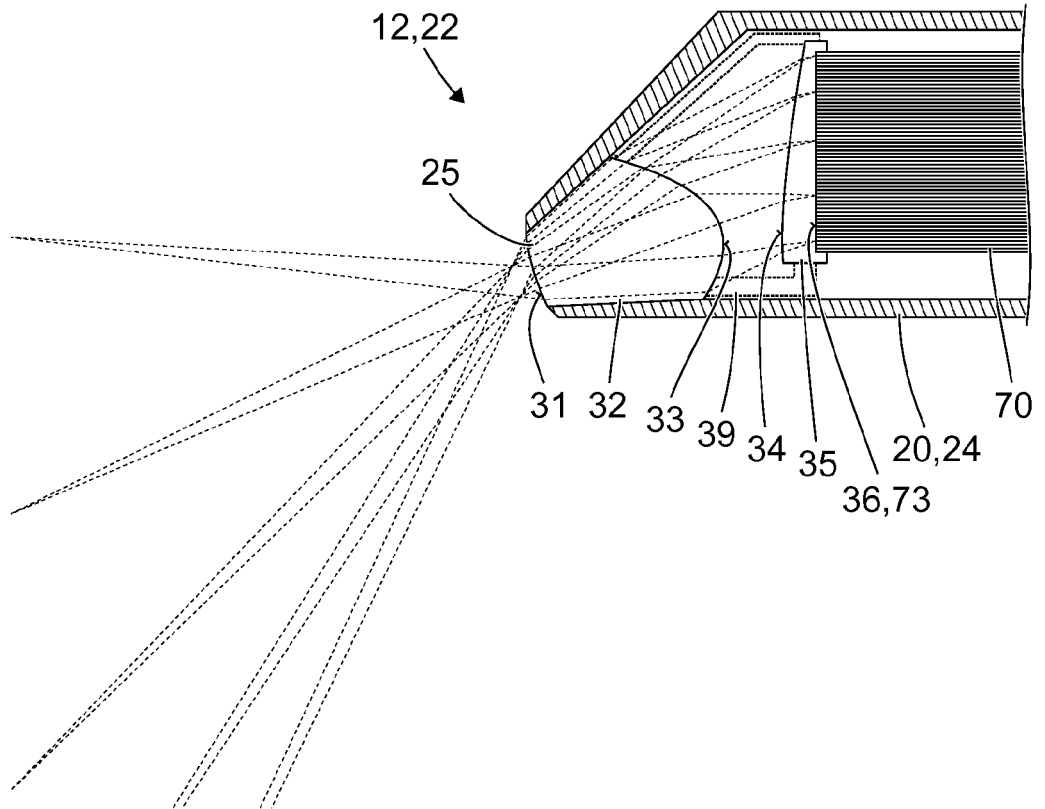


Fig. 4

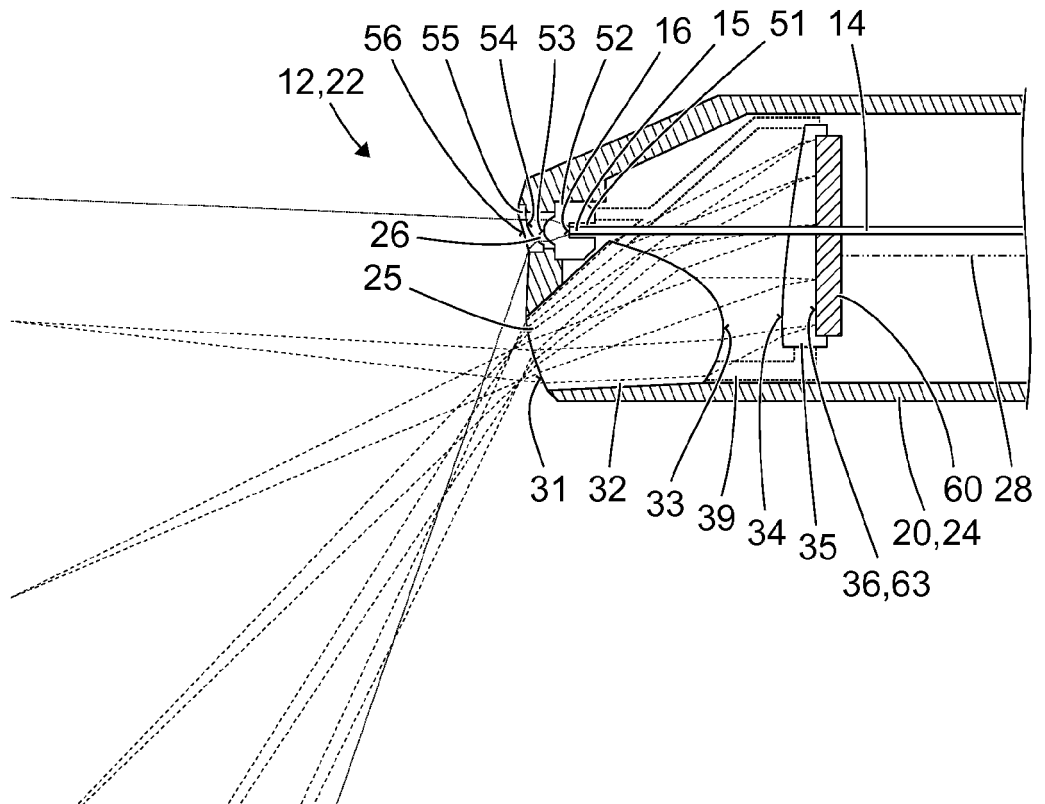


Fig. 5

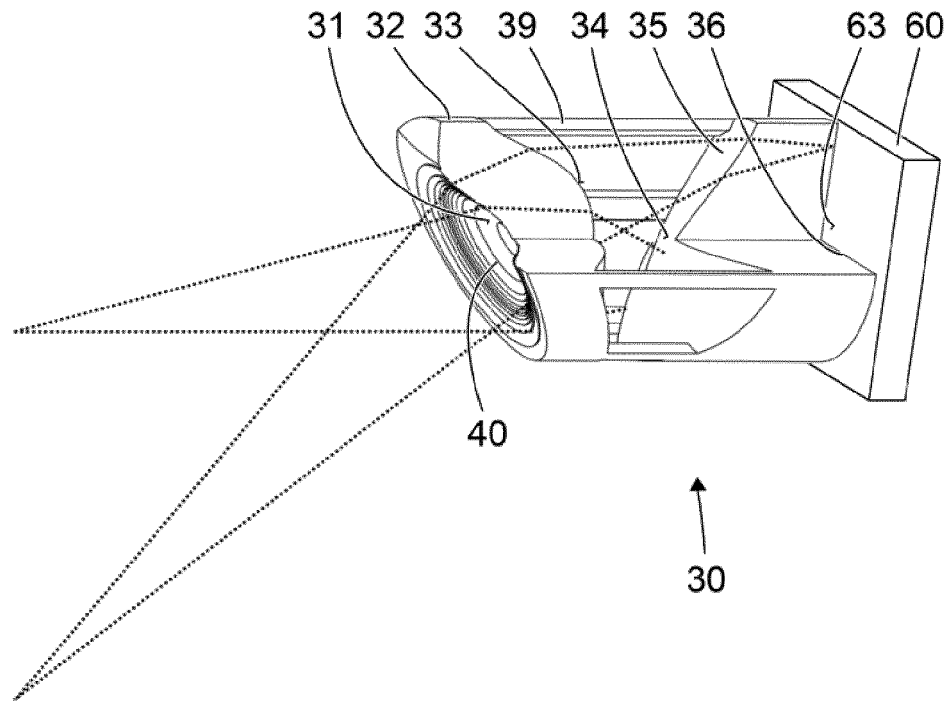
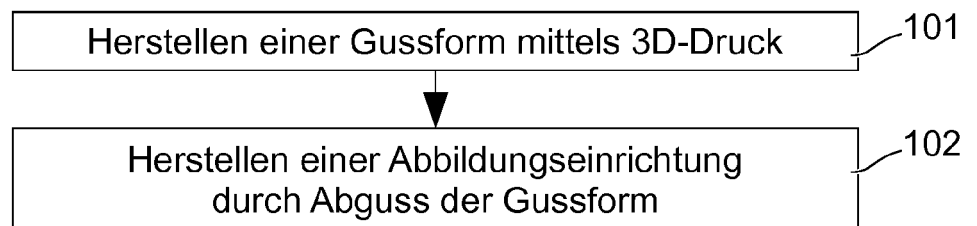


Fig. 6



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1961371 B1 **[0004]**
- DE 102015003652 A1 **[0005]**
- DE 102015012980 A1 **[0006]**
- EP 3162549 A1 **[0007]**
- DE 102015103214 A1 **[0008]**
- DE 69734638 T2 **[0009]**
- US 5912764 A **[0010]**
- DE 102011089157 A1 **[0011]**